

森林生態復育之理論與實例

文、圖 ■ 郭幸榮 ■ 台大森林環境暨資源學系教授兼系主任

一、前言

早在先民施行農業耕作以來即在做受害地的復建工作，時至今日，人類集約而錯誤的經營更嚴重危害環境，如為了控制沖蝕而引入外來的小花蔓澤蘭致帶來生態災難，山地區域放火整地、溪流的截彎取直、以及過渡捕殺獵食性動物等，皆再再危害自然環境及破壞物種間的平衡。在森林區域，由於大面積的皆伐作業、林地變更為農業或園藝用途、寬廣道路之關建以及天然災害如豪雨、洪水及地震等引起的林地退化或破壞，使我們存在於所謂「受傷的世界」，解決的方案即森林生態復育。

二、何謂森林生態復育

森林生態復育即指以生態學原理將受到破壞的森林生態系回復到接近於受干擾前的狀態。在實務上，必須將資源受到的生態性傷害予以修復，生態系的結構及功能必須重新創立。新建的生態系若只有單一而純化的結構（如人工同齡純林）致未能達到預期的功能或與自然資源的功能差距太遠，就不足以稱為生態復育。復育由於技術、目標的不同而有不同的內涵，例如綠化、棲地重建、

或維護坡面安定等不同目標，即有不同的工作內容，致沒有標準模式。復育一詞最早出現在美國，企圖將農地復建成為開發前的自然草原狀態，之後則用在開礦廢棄地及化學藥劑毒化沼澤的植物栽植。隨後森林復育觀念興起，企圖重建森林，以回復至歐洲移民開發前的樹種組成及結構。因此，復育的目標即在修復受害的生態系，重建一個新而健康的生態系，在生態上具有完整性且與人類與自然調和，或能抗拒火災為害。因此，新建立的健康而完整的生態系，具有生物多樣性且可持續發揮其功能。

三、森林復育在何地進行

因人為或自然因素使森林組成樹種單純化，結構一致化或生產力衰退之林地，皆為復育之對象。依據林地破壞狀況及微環境之條件，復育地大致尚可分成三類：一為崩塌及嚴重地表逕流沖蝕地、火燒跡地；二為海岸不穩定之低生產力而自然更新困難之砂地；三為大面積受干擾而呈現之低密度林地或結構單一化之純林。下文僅論述第一類林地之復育。



四、森林生態復育之目標

森林生態系復育觀念興起時，既以復建一個與干擾前相同的生態系為目標，那麼，何種森林生態系可當為指標呢？參仿原始林（virgin forest）？或鬱閉的次生林但林齡有50至100年而內有衰退巨木存在的森林？也就是必須要有明確的參仿林分才可能實施及評估復育成果。但是，在實務上縱使參仿林分已選定，但自樹幹解析資料顯示，美國西南方過去自1800年至目前的氣候狀況與1400～1800年間確實有所不同？重建的森林將無法與參仿林分相同。在台灣呢？樹幹解析資料也顯示氣候條件已有所變化。因此，吾人怎能假設過去的森林結構可適應目前的環境條件？尤其最近聖嬰現象所帶來的雨量及降雨季節之改變，極端氣候條件之屢破紀錄，欲創造一個反應以往氣候的森林結構有何意義呢？顯然地，復育目標似應以適應目前的環境條件較為妥適，而予以修正。

五、生態復育之盲點

就森林經營的角度而言，近200年的氣候狀況對目前及未來經營森林的意義遠大於古早時候的氣候條件之影響。因此，將現有的森林在目前的氣候條件下經營以達成預期目標，將比重建一個自古時候演替而來的老熟森林更有意義。

自森林生態系的發育角度觀之，干擾的樣式及強度決定了生態系被破壞的程度以及重建的樣式。如颱風使單木或一群林木枝折、倒伏，火災可能導致大面積燒燬，洪水

及地震引起的崩塌等等，各有不同的生態系重建樣式。機會也是影響重建成果的重要因素，重建地若鄰近演替早期林分，因為組成樹種多為小粒種子，將有較多的種子來源；而鄰近演替後期的林分，其樹種多生產大粒種子，致種子來源稀少，而且不易在開闊環境下發芽、生長。另外，森林復育需建立在生態基礎上，遺憾的是，這些所依賴的生態學理，有的尚未清楚，有的等待更多的實例來驗證。例如演替自早期至極盛相是隨著林分年齡呈現直線變化樣式呢？還是曲線而不同速的變化？目前仍有所爭議。

復育的森林生態系組成樹種必須為干擾前原有的樹種呢？或是可以含有其他的樹種？若為前者，土壤種子庫或鄰近林分若可提供種子來源，或許可達成預期目標。但如缺乏，則必須自其他地區引入相同的樹種或以鄰近的森林生態系之組成樹種予以重建，則要重建原來樹種的森林生態系之目標必然無法達成。

在社會需求方面，因為林學為應用科學，需基於生態學原理以經營森林，使森林發揮最大的功能以滿足社會的需求。因此，育林或其他經營人員必須尋求如何使林木長的更快、長的更高大，以何種撫育手段使森林的樹種組成及結構在控制的範圍內，而且在合宜的收穫及更新作業體系內，維護水土資源。森林復育雖也基於相同的生態學原理，但以參仿林分為目標，創造近似參仿生態系的條件當為研究的對象以瞭解該生態系的功能，或是將退化生態系當作生態復育的

對象，與森林經營的目標顯然不同。自上述諸多盲點而言，原設定的生態復育目標應在生態學基礎、環境條件及社會需求下予以修正較為合適。

六、森林生態復育之內涵

(一) 復育基地物理環境之改善

生態系受害越為嚴重，物理環境之改善越為重要。就一般復育基地而言，表面的粗糙化可減少地表逕流。若為崩塌地，必須重新塑造一穩定的地形，打樁、編柵即此種施業內容。

復育基地所殘存的林木、禾草類植物、枯枝落葉及腐植質會顯著改變微環境條件，但禾草類也會抑制其他植物的重建。木本植物是生態復育中較為有效及持續較久的植物種類，必須列為最主要的重建目標。

1. 地表處理

水分的滯留及利用為減少地表逕流而緩和復育基地更為劣化的首要策略。地面小溝渠的水流會因工程構造物的匯流而提高流速，進而導至沖蝕災害更為惡化。為了增加水分在裸露土壤表面的可用性，第一個方案為增加土壤表面的粗糙度，使凹凸不平。第二個方案為建構地表逕流的障礙物，如以岩石、樹幹、粗枝、枯枝落葉或人工構造物的橫坡堆置，其可能因水流、地震等外力的移動而時效短暫，但可使土壤沈積、改善微環境條件而提高目標植物的發芽及生長表現。植物一旦重建，則可自行繁衍、演替而發揮防止沖蝕的能力。就技術層面而言，此種作

法簡單，而且不必急於改善土壤養分及提高有機物含量。

若為崩塌面，則需有較重大的改善作業，首要的工作為穩定坡面及重建排水系統，以降低土壤沖蝕及創造適合植物生長的微環境。

2. 覆蓋稻草或草蓆

覆蓋稻草或草蓆可減少土壤沖蝕、降低極端高溫、保留土壤水分、提高種子發芽率及促進苗木生長。因為覆蓋稻草或草蓆會改變種子發芽床的微環境，如降低種子的受光量及增加種子發芽出土所穿越路徑的長度，故覆蓋厚度及樣式會影響發芽種子的植物種類及其生長速率，例如覆蓋太厚將會降低小粒種子的發芽，而使這類植物無法重建。

(二) 植群自然復育

復育基地若為嚴重沖蝕或崩塌地，經施工穩定坡面後，即任其自然更新、演替，更新材料為土壤種子庫及新播遷而來的種子。埋藏在土壤的種子（即種子庫）有一部分會因新環境有強烈光照及土壤溫度日夜變化加劇而發芽。在崩塌坡面的土壤堆積區，原理藏在土壤深層的種子，會隨著土壤移動而有短暫曝光或露出土壤表面的機會，進而解除休眠及發芽。至於新散布而來的小粒種子可能會因休眠性而成為新的土壤種子庫。不同植物在土壤種子庫的重要性仍視該種子的壽命及發芽特性而異，存在土壤中壽命短於一年者，其復育價值通常很低，壽命為1~5年之短期或5年以上之長期種子的復育價值較高。大致而言，小型且乾藏特性的種子休眠



性較強，而大型濕藏特性的種子休眠性較弱，故前者通常為組成土壤種子庫的主要種類。因此，種子庫的組成植種與未受干擾前的冠層組成樹種間之關聯性，在不同復育地間有很大的變化，通常與演替早期樹種的關聯性可能較高；反之，演替後期樹種通常不是土壤種子庫的主要樹種，而是以苗木庫存在，若干擾嚴重而使苗木庫死亡，則未來重建的生態系將與原生態系有重大差異。

新播遷而來的種子，主要為小粒種子隨風而至，因大粒種子的散布距離通常只有數公尺而已。大粒種子主要的散布者為鳥類及哺乳類，如台灣檫樹種子依賴鳥類取食而散布，成為復育更新材料。

更新時程除了受更新材料的影響外，尚視更新環境條件而定，如在溫帶地區火燒跡地的更新，約需150~200年才可達成成熟期林分，若欲達老齡且林分結構有水平及垂直變化，約需300~500年。在熱帶濕林之廢耕遊墾農地，約15~60年即可復建成與鄰近森林相似的新林分。在干擾強烈或土壤嚴重退化地，或耕耘頻繁之農地，土壤種子庫通常不足夠需依靠新播遷來的種子，則時程會宕延而無法預期何時可重建一穩定的生態系，欲縮短時程，必須人為加速復育。

(三) 人為加速復育

當復育目標確定，則可選擇復育的植物種類及比例。復育的目標植物種類若已消失，則重建一個樹種組成完全不同的森林生態系。任何目標種在植物社會所扮演的功能及與其他個體間的競爭關係可自其外觀或經

模擬研究而加以判釋，大致而言，復育任何物種必須先瞭解該植物的三種基本生存策略，一為逆境的忍受能力（通常以外在因子對植物生長速率的影響來表示）、二為干擾的忍受能力（以生物體受破壞的程度來判定）和三為競爭能力（相鄰植物利用相同資源的趨勢）。其他影響因子包括復育材料（種子或萌蘖）所新建的社會結構以及各樹種的最適環境條件，皆會影響未來各植物種類共存的機會。因此，短時間可共存的物種並不可推論在競爭發生後，仍然可繼續共存，即有些植物種可能在競爭過程中消失。

1. 以種子在復育地播種

(1) 種子來源

嚴重干擾或危害而需復育的地方，通常也會減弱種子庫在復育的價值，但目前對干擾種類與種子庫受害的關係尚不十分清楚，已可證實的是，傳統育林手段進行栽植對土壤的干擾是極為輕微的，故原生植物種子通常可繼續宿存而不會受傷害。反而是重複性的翻耕土壤（如農業耕作）所帶來的傷害會較深，原因是種子可能會被埋得更深或發芽露出表土後被剷除。在農業耕作期，外來小粒種子尤其是雜草種子，可能成為優勢或形成土壤種子庫，致缺少原生的木本植物種子。

如土壤種子庫中缺少木本植物種子，必須以鄰近地區採集的林木種子進行播種，但要先進行種子品質檢測，而且要知道解除休眠以促進種子發芽的方法及復育地的微環境狀況，以獲得高發芽率與苗木之成活及生長。採集種子時要注意產地，尤其分布廣的

樹種在不同產地間可能存有遺傳差異，而發生外地種源適應性較差的困擾。因此，自種苗商購買的種子應有產地證明及品質保證，因其種子採集、處理及儲存過程是否適當無法知悉。若對種子品質存疑，則應依國際種子檢驗規則檢測種子發芽率或委託學校、研究機關檢驗，以免復育失敗且帶來爭議。

種子播種前最好先經發芽促進處理，最簡易、省錢且有效的方法為浸於流動水，時間通常為12~36小時。播種前取出使種皮陰乾，以利播種作業。

常用的小粒種子通常休眠較深，若直接播種則需在復育地的微環境調控下解除休眠，通常會延宕發芽時程。台灣各樹種種子的解除休眠方法可參閱林務局2004年6月完成的育林手冊第四章。

(2) 播種作業

播種最適當的時期為雨季來臨之前。播種量視種子的發芽率、成苗率、預期株數及其他雜草競爭程度而定，通常的情形是實際播種量必須大於估計的量。播種後覆土再覆蓋稻草或草蓆可改善發芽的環境及減少被昆蟲或齧齒類動物取食、地表逕流流失而提高發芽率，但覆蓋太厚則會抑制小粒種子的發芽，且小幼苗因無法伸出而夭折。現場工作人員必需依靠專家學者所提供的資訊或依經驗而決定適當的厚度。

光及溫度變化也會影響種子發芽，通常情形是光會抑制大粒種子發芽而利於小粒種子。因此，覆土或覆草厚度在兩型種子間有所不同，前者較厚而後者較薄。台灣因雨季

以春、夏為主，播種後土壤溫度通常適於種子發芽及幼苗生長，故溫度除非會出現極端高，否則可予以忽略。

影響種子發芽的另一重大因子為雜草的競爭，禾草科雜草如五節芒和蕨類為影響種子發芽的最重大因子，因其提供種子掠食者，如齧齒類動物及葉食性昆蟲的庇蔭場所。另外，這些植物會競爭土壤水分、養分及光，也會有相剋作用而抑制種子發芽及小苗生長。但是雜草並非全然是負面效應，在乾燥而嚴重破壞、缺少足夠土壤的崩場地，因為雜草可提供庇蔭而增加種子發芽及幼苗生長。

(3) 保護植物之應用與控制

為了減少地表沖蝕、穩定坡面及提供目標植物種子之發芽及幼苗生長之微環境，在目標植物種子播種之前，先行播種一些耐旱、耐貧瘠之植物種子，建立一過渡期的植物覆蓋，常用者為豆科植物或赤楊、山黃麻等樹種。外來的植物必須注意其種子繁衍能力，以免帶來生態災難。這些植物通常為種子細小、需光性強、生長迅速而達到保護土壤表面的預期目標。但因為這些保護植物會抑制目標植物的生長，在播種之前必須先作孔狀割除，以減少競爭。

2. 以苗木栽植進行復育

由於種子在復育地的惡劣微環境不易發芽或剛發芽的小苗易於受害而無法達到預期目標，則以苗木栽植為一可行的方案。另外，苗木栽植可縮短復育的時程。

復育所用苗木的培育作業與一般傳統的



育苗作業並沒有很大的區別。容器或塑膠袋苗可將生長介質攜帶至復育地，以提供水分及養分的來源，但如復育地的環境太惡劣，其功能仍然有限。因此，在蔭棚下生長的苗木於出栽之前要去除蔭棚，使苗木於充分日曬下經過一個月以上，使其逐漸適應高日照的野外環境。澆水的頻度也要逐漸減少，出栽之前一日才要充分澆水，而且在栽植後若逢太長的乾旱應予以澆水。

苗木栽植方案有很多好處，在土壤較少的復育地，容器或塑膠袋苗的成活率通常較高，而且栽植後需澆水的時間較短。因此，復育成果大致可達成。

栽植的樹種以原生樹種為主，而且要多樹種混合，不可建造單一樹種的純林。栽植密度需依預期達成的目標而定，但低於一般人工林栽植密度。應予注意的是，栽植苗在苗圃生長空間及根域皆受到限制，致其形態及表現在幼齡階段可能與直播發芽而長成的苗木有所不同，故在栽植前應經篩選健康的苗木，淘汰細長、柔弱的小苗，將可提高復育成果。

苗木自苗圃搬運至復育地的路程及時程越短越好，而且要妥善保護，不可任其在強日照下曝曬，尤其根系在日曬下短時間即受害，影響未來的成活及生長。枝葉也要注意不要折斷，以免影響苗木形狀。

苗木栽植後數年之內仍應仿照一般造林地進行雜草刈除作業，沒有特殊的原因要保留的灌木類，也同時砍除。原生樹種除了妨礙目標樹種的生長者外，則應予保留，其具

有生產更新所需要的種子，也供鳥類停留棲息，由其排泄物提供復育地外的種子來源，擴大復育生態系的遺傳基礎及樹種組成。

七、生態復育實例

溪頭杉林溪公路沿線在2001年7月30日桃芝颱風過境時曾造成嚴重的崩塌，其中一處面積約8ha。台大實驗林在行政院的經費補助下，在崩塌面實施打樁、編柵之生態工法固定坡面，且撒播台灣赤楊種子，在2002年9月完成各項重建工作（圖1）。2004年郭幸榮等13人之研究團隊在國科會經費資助下進行崩場地復育區之微環境、植生重建、微生物相及相關地區、水域之昆蟲相、水生昆蟲及動物之調查，茲摘述一些重點（郭幸榮等13人之國科會期末報告）如下述，此結果隨時間而變動的樣式尚待以後繼續調查評估。

（一）坡面穩定

只有小面積坡面在2002年完工後因大雨崩塌，但不嚴重（次頁圖1~9）。

（二）植生重建

1. 在坡面的不同位置間，植物種類並不完全相同，自34至48種不等，其中以台灣赤楊、五節芒為最重要，其他植物有台灣澤蘭、長梗紫麻、柔葉金星蕨、黑麥草、台灣青芋等，缺少原生闊葉樹種。

2. 植物密度

台灣赤楊密度2004年春天最高者達80株 / m²以上，但在秋天時因競爭而有一部分苗木死亡，即進行自行疏伐現象。

3. 植物生存能力



▲1-1



▲1-2



▲1-3



▲1-4



▲1-5



▲1-6



▲1-7



▲1-8



◀1-9

- ▲1-1：崩塌坡面，面積約8公頃
- ▲1-2、1-3：坡面穩固工程，坡趾乾砌大塊石牆
- ▲1-4：坡面橫向蓄土帶排水
- ▲1-5～1-7：打樁編柵工程（以上劉興旺攝）
- ▲1-8：人工散播種子即有機肥
- ▲1-9：2004年5月8日崩塌坡面外貌（徐新武攝）

※ 臺大實驗林溪頭林區在2001年7月30日桃芝颱風破壞所形成之崩場地復育過程及成果



長梗紫麻及楊波有強壯主根入地極深，赤楊及檉木（苗木栽植者，數量少）主根不明顯，故後者及五節芒與前者適應崩塌地的機制不同。

4. 種子人工直播成果

小粒種子光臘樹發芽率最高，其次為楓香，檉木發芽率甚低。大粒種子雖可發芽，但旋遭昆蟲或齧齒類為害無法正確判斷（表1）。

5. 苗木栽植成果

所栽植的樟樹、雅楠、赤皮、青剛櫟及狹葉樹屬森林社會演替後期樹種，塑膠袋苗栽植時苗高約60至80公分，栽植後曾澆水1次，第一年成活率90%以上，生長良好（圖2）。

（三）土壤理化性質

1. 土壤礫石（>2mm）含量甚多，在49.7~78.4%之間，顯示目前土壤尚少，但在累積當中。
2. 土壤pH值為5.66~7.37，遠高於一般森林土壤（pH值在3~5之間）。

3. 土壤的離子及無機氮含量尚不高，生產力還低。

4. 土壤熱傳導係數顯示崩塌地特性。

（四）土壤微生物

土壤溶磷菌、固氮菌、放線菌及真菌類呈現樣點間及季節間之變化。

（五）土壤動物

在不同月份的調查，除了反映季節變動的影響外，也反映土壤狀態及植群的改變。

（六）水棲昆蟲

原棲地受崩塌、土石流的破壞影響，族群減少，目前尚未恢復，致各樣點間有相當大的差異。

（七）蝶相

蜜源植物稀少，蝶相的種類少。

（八）鳥類

復育區的鳥種之豐富度較鄰近之林分高。鳥數量則依序為復育區多於鄰近的柳杉林，最少者為孟宗竹林，與復育植物可提供庇蔭所及食物來源有關。

表1 各樹種種子播種後之發芽率（%）

樹種	客土 2cm		客土 5cm		未客土		室內
	刈除植物	不刈除植物	刈除植物	不刈除植物	刈除植物	不刈除植物	
檉木	0.5	0	0	0	1.5	0	49.9
光臘樹	26.7	4.0	20.7	7.5	11.7	15	76.9
楓香	10.3	0.3	2.3	0	13.0	0	90.8
狹葉櫟	-	-	-	-	-	-	87.5
青剛櫟	-	-	-	-	-	-	90.3
森氏櫟	-	-	-	-	-	-	38.5
子彈石櫟	-	-	-	-	-	-	96.3
錐果櫟	-	-	-	-	-	-	100.0

（-：表示發芽過程被昆蟲或齧齒類動物所啃咬破碎、萎縮，無法計算發芽率。）

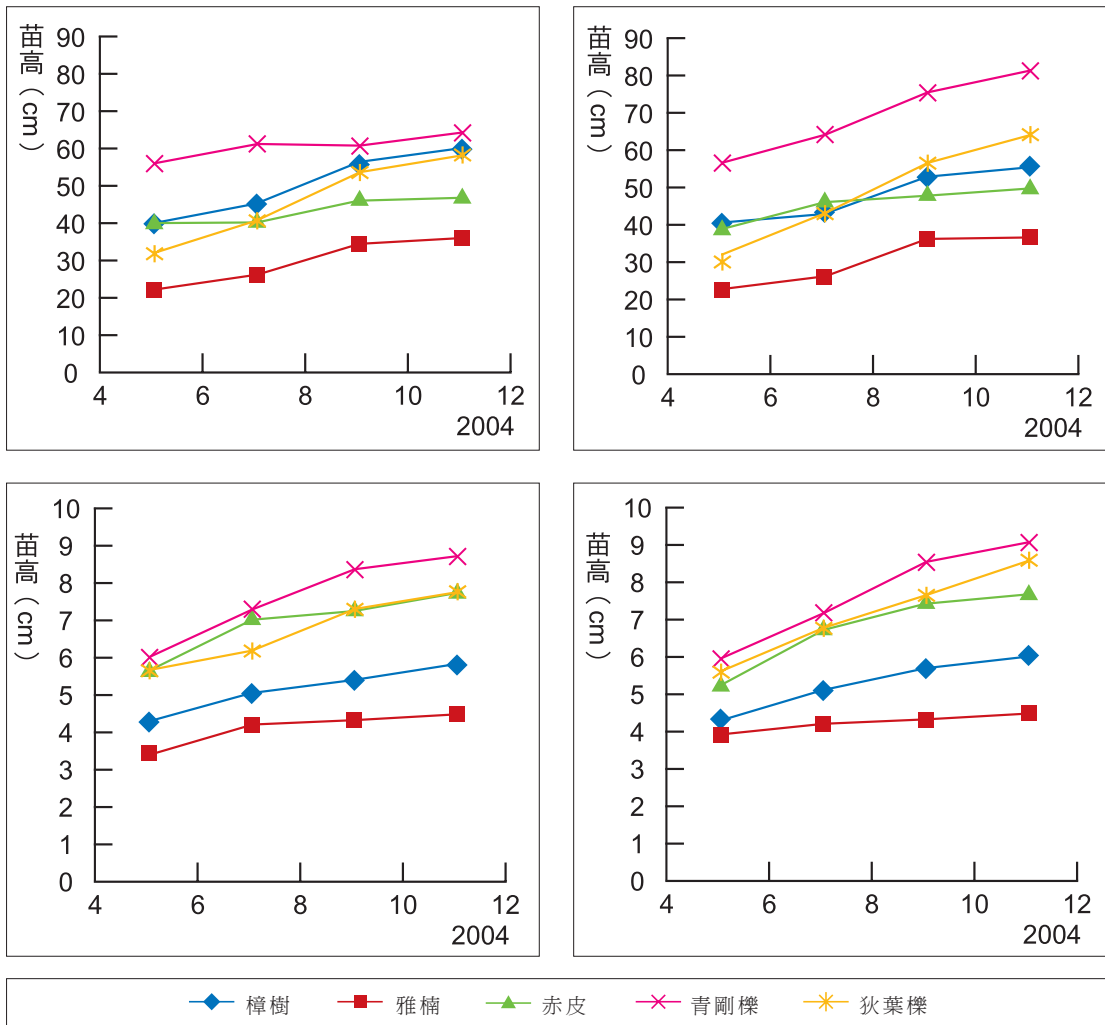


圖2 A (未刈除其他植物)、B (刈除其他植物) 兩樣區各樹種之苗高、苗徑之生長

(九) 地棲動物

復育區比柳杉林及竹林有較多的嚙齒類。孟宗竹林有台灣獼猴、赤腹松鼠；復育區有台灣獼猴、麝香貓、赤腹松鼠；柳杉林只有赤腹松鼠。

從上面所敘述的資料，可知悉本崩塌地經人為施作坡面穩定工程及播種赤楊後，復育情況頗為理想，也符合社會期待，因此，

森林復育過程須因地制宜，採取適當的措施以達到預期目標。🌱

